

言语刺激双耳分听研究

冯海泓, 牟宏宇, 陈友元, 原 猛

(中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

摘要: 双耳分听是一种常用于大脑半球偏侧化研究的非侵入式行为测试方法。右耳优势为言语刺激双耳分听研究观察到的典型现象。重点探讨言语刺激感知的大脑半球偏侧化双耳分听研究, 对常用的双耳分听范式、典型的言语刺激双耳分听、双耳分听中的注意和认知控制、双耳分听中的性别/年龄/利手差异等方面的研究成果进行归纳总结。此外, 还介绍了双耳分听在临床中的应用价值, 并对双耳分听研究的未来发展趋势进行展望。

关键词: 双耳分听; 右耳优势; 大脑半球偏侧化; 注意; 认知控制

中图分类号: B845.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2016)-04-0289-07

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2016.04.002

Verbal stimulated dichotic listening research

FENG Hai-hong, MOU Hong-yu, CHEN You-yuan, YUAN Meng

(Shanghai Acoustics Laboratory, Chinese Academy of Science, Shanghai 200032, China)

Abstract: Dichotic listening (DL) is a non-invasive behavioral method for hemispheric lateralization research. Right-ear advantage (REA) is the most typically observed phenomenon in verbal stimulated DL research. This paper focuses on DL studies of hemispheric lateralization to verbal stimuli perception. Research achievements in respects of common DL paradigms, typical dichotic verbal stimuli presentation, attention and cognitive control in DL, and sex, age, handedness differences in DL are mainly summarized. Besides, application value of DL in clinical conditions is introduced. And the future development trend of DL research is proposed.

Key words: dichotic listening; right-ear advantage; hemispheric lateralization; attention; cognitive control

0 引 言

双耳分听(Dichotic Listening, DL)是一种常用于大脑半球偏侧化研究的非侵入式行为测试方法。在标准的双耳分听测试中, 两个不同的听觉刺激信号(如言语、音乐、语调等), 通过耳机被同时呈现给被试的两侧耳朵。图 1 为双耳分听测试示意图。



图 1 双耳分听测试示意图

Fig.1 Schematic diagram of DL test

该方法于 20 世纪 50 年代出现, 起初主要被用于注意理论的研究。1953 年, E. C. Cherry^[1]在研究“鸡尾酒会效应”(cocktail party effect)中的听觉选择性注意时, 实施了一项追随任务: 在向被试的左耳呈现一段连续语音信息的同时, 向其右耳呈现另一段不同的连续语音信息, 并让其大声追随某一侧耳听到的信息, 这就是双耳分听的雏形。研究结果显示, 被试从非追随耳得到的信息很少, 仅能分辨男女声、被试自己的姓名^[2]等对被试重要的信息。

在此基础上, 1954 年, D. E. Broadbent^[3-4]在研究注意和注意转换时, 设计了一项双耳分听数字序列实验: 在向被试的左耳呈现一段数字序列的同时, 向其右耳呈现另一段不同的数字序列, 例如左耳—7、1、3, 右耳—2、5、6, 且 7 和 2 分别同时呈现, 以此类推。实验要求被试或以耳侧为单位分别报告, 或以双耳同时接收到的数字对依次成对报告, 或随意报告。结果显示, 分别报告方式的正确率远高于成对报告方式的正确率, 且随意报告时被试更多采取分别报告方式作答。并依据此研究结果, 于 1958 年提出了注意的过滤器模型^[5]。

1961 年, D. Kimura^[6-7]通过实施 D. E. Broadbent 的双耳分听数字序列实验, 发现被试更多地正确报

收稿日期: 2016-03-10; 修回日期: 2016-05-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(11474309); 中国科学院声学研究所所长择优基金项目(Y443121301)

作者简介: 冯海泓(1966—), 男, 辽宁沈阳人, 博士生导师, 研究员, 研究方向为听觉补偿技术、心理声学和水下声学。

通讯作者: 牟宏宇, E-mail: mhy@mail.ioa.ac.cn

告了来自右耳的数字,即存在右耳优势(Right-Ear Advantage, REA)现象。这项研究开创了双耳分听应用于听觉感知大脑半球偏侧化研究的先河。1967年,为了解释该现象,D. Kimura 更是提出了至今仍被广泛接受和支持的结构模型(structure model)^[8]。该模型认为:虽然双耳到大脑两半球均存在听觉通路,但在双耳分听实验中,被试同侧的听觉通路被削弱和抑制,对侧的听觉通路占主要优势;呈现给被试右耳的言语刺激直接传输到语言处理占优的大脑左半球进行处理,而左耳刺激则在传输到非语言处理占优的大脑右半球后,需再通过胼胝体中转到大脑左半球进行处理。

此后的 50 多年里,双耳分听一直充当听觉感知大脑半球偏侧化研究最重要的非侵入式行为测试方法^[9]。而其中最热门的当属言语刺激感知的大脑半球偏侧化双耳分听研究。本文对常用的双耳分听范式、典型的言语刺激双耳分听、双耳分听中的注意和认知控制、以及双耳分听中的性别/年龄/利手差异等方面的研究成果进行了归纳总结。此外,介绍了双耳分听在临床中的应用价值,并对双耳分听研究的未来发展趋势进行了展望。

1 双耳分听范式

在双耳分听测试中,通过耳机将两个不同的听觉刺激同时呈现给被试的两侧耳朵,根据对被试报告听觉刺激方式的不同要求,可分为不同的双耳分听范式(DL paradigms)。

常用的双耳分听范式有两种:一种是非强迫自由回忆(Non-Forced free recall, NF)双耳分听范式;另一种是强迫注意(Forced-Attention, FA)双耳分听范式,分为强迫注意右耳(Forced-Right attention, FR)和强迫注意左耳(Forced-Left attention, FL)。

D. E. Broadbent^[3-4]、D. Kimura^[6-7]等人实施了最早的 NF 双耳分听范式,要求被试根据自己的听感和喜好报告听到的所有刺激。而 M. P. Bryden^[10-11]则注意到这有可能会产生顺序效应,故建议采用要求被试仅报告一个听得最清楚刺激的方式。

20 世纪 80 年代,新的双耳分听范式出现。M. P. Bryden^[12]认为 NF 双耳分听范式允许被试自主分配注意,这给观察右耳优势带来了不可控因素。因此,为了获得对大脑潜在不对称性的去除注意因素的评估,M. P. Bryden^[12]、K. Hugdahl^[13]等开发了 FA 双耳分听范式,要求被试仅注意听和报告来自右耳或者左耳的刺激,而忽略对侧刺激的干扰。

2 言语刺激双耳分听

右耳优势是言语刺激双耳分听研究观察到的典型现象,表明对言语刺激(如数字、辅-元音节、声调等)的感知和处理普遍存在大脑左半球优势^[14]。言语刺激双耳分听研究主要包含两方面热点:一是辅-元音节(Consonant-Vowel syllables, CV- syllables)双耳分听及其扩展;二是声调(lexical tone)双耳分听。

2.1 辅-元音节双耳分听及其扩展

D. Shankweiler 和 M. Studdert-Kennedy 于 1967 年设计实施了经典的辅-元音节双耳分听实验^[15]:由 /b/、/d/、/g/、/p/、/t/、/k/ 等 6 个塞辅音和元音 /a/ 分别组合成辅-元音节后,成对呈现给被试的两侧耳朵,形成例如 /ba/ - /pa/、/da/ - /ga/ 等双耳分听刺激对。同时,还实施了由 /i/、/ε/、/æ/、/a/、/u/ 等 5 个稳态元音构成的双耳分听实验。研究结果显示,被试仅对辅-元音节的感知存在显著的右耳优势,而对稳态元音的感知未发现耳侧优势。

1970 年,他们又将辅-元音节实验扩展为辅-元-辅音节(Consonant-Vowel-Consonant syllables, CVC-syllables)双耳分听实验,结果显示,被试对起始和结尾塞辅音的感知均存在显著的右耳优势,而对中间的元音感知则未发现耳侧优势。且通过对起始塞辅音感知产生错误的分析,初步得出结论:尽管大脑两半球均具备提取言语信号听觉参数的能力,但语言处理占优的大脑左半球对从这些听觉参数中提取语言特征更加专业^[16]。

此后,辅-元音节双耳分听实验成为了言语刺激听觉感知大脑半球偏侧化研究领域最常用的典型双耳分听实验之一,至今仍在全球众多实验中广泛使用^[9]。

另一个扩展自辅-元音节实验的典型双耳分听实验是溶合词双耳分听实验(Dichotic Fused Words Test, DFWT)。DFWT 最初由 J. P. Johnson 等人^[17]于 1977 年探索研发,后经 B. E. Wexler 和 T. Halwes^[18]修改而成,旨在确定与大脑半球语言功能偏侧化有关的更准确的数据,从而提高双耳分听在评估听觉感知大脑半球偏侧化时的信度(reliability)和效度(validity)。在 DFWT 中,向被试的两侧耳朵成对呈现押韵的辅-元-辅结构单音节词,每对单词仅起始辅音不同(例如:peg - keg, boy - toy 等)。其研究结果表明^[18],DFWT 的重测信度(test-retest reliability)较高($r = 0.85$)。

R. J. Zatorre^[19]指出,DFWT中的双耳分听刺激对以一种可在两耳间形成部分融合的方式构造和对齐,让被试每次似乎仅听到并报告一个刺激。这使得该实验方法具备了两个优点:一是由于感知统一且定位于脑中线,故最小化了注意因素的影响;二是刺激显性效应可以明确计算,故它们对耳侧优势的影响可以有效评估和消除。

因此,DFWT被认为是评估大脑半球偏侧化的一种可靠的和去除了注意因素的双耳分听实验^[20]。对比研究表明,被试自主发起的注意转移,对其在DFWT中表现的影响远小于对其在其他双耳分听实验(如辅-元音节双耳分听实验)中表现的影响,使其成为评估言语感知大脑半球偏侧化的更有价值的双耳分听实验^[21]。

2.2 声调双耳分听

声调作为音高模式(pitch patterns)的一种,提供了一种独特的研究情况,音高的变化模式被用来区分词汇的语义。一方面,声调用于产生音位和语义对比,其感知处理应该是大脑左半球的功能;另一方面,声调又是音高随时间变化的函数,通常认为属于大脑右半球的功能领域。因此,声调感知的大脑半球偏侧化值得深入研究。

1973年D. Van Lancker^[22]首先开展了泰语声调双耳分听研究,发现母语为泰语(一种声调语言)的本地被试对泰语声调的感知存在显著的右耳优势,而母语为英语(一种非声调语言)的被试对泰语声调的感知则不存在耳侧优势,表明母语为泰语的本地人对声调的感知存在大脑左半球优势。随后的研究^[23]进一步表明,仅当声调是被试语言系统的一部分时,其对声调的感知才呈现大脑左半球优势。

1993年I. Moen^[24]实施了两个挪威声调的双耳分听研究,结果表明,挪威语(一种声调语言)为母语的本地人感知挪威语声调区别的能力存在大脑左半球优势。

2001年Y. Wang等^[25]开展了汉语声调双耳分听研究,结果显示,母语为汉语(一种声调语言)的本地人对汉语声调的感知存在显著的右耳优势,表明其对汉语声调的处理呈现大脑左半球优势,而母语为美式英语的被试对汉语声调的感知则未呈现耳侧优势。

Y. Wang等的一项后续研究显示^[26],精通英-汉双语的非本地被试对汉语声调的感知亦存在显著的右耳优势,而母语为其他声调语言的被试(如挪威语被试)对汉语声调的感知却不存在偏侧优势,表明对于掌握了汉语声调功能运用的双语者,其对

汉语声调的大脑半球偏侧化处理变得像本地人;也进而支持了D. Van Lancker仅当声调是被试语言系统的一部分时,其对声调的感知才呈现大脑左半球优势的研究结论^[23]。

刘丽等人^[27]、牟宏宇等人^[28]的汉语声调双耳分听研究也发现了显著的右耳优势,同样表明汉语为母语的本地人对汉语声调的感知存在大脑左半球优势。

然而,关于包括声调在内的不同音高模式的大脑半球偏侧化存在两种相互对立的假说:功能假说(functional hypothesis)和声学假说(acoustic hypothesis)。功能假说^[29]认为,音高模式根据其功能差别在大脑半球中的偏侧化优势不同,感知携带更多语言负荷的音高模式(如区分语义的声调)时,呈现大脑左半球优势;而感知携带更少语言负荷的音高模式(如标志情感的语调)时,则呈现大脑右半球优势。声学假说^[30]则认为,所有的音高模式,不论其功能如何,均呈现大脑半球某一侧优势(尤其是大脑右半球)。

目前,包括前述声调双耳分听研究在内的多数行为测试研究结果,都更多支持了音高模式的大脑半球偏侧化的功能假说。

3 双耳分听中的注意和认知控制

除了引言中已描述的D. Kimura的结构模型^[8],还有另外一种观点,用于解释言语刺激感知普遍存在的右耳优势现象,即1970年由M. Kinsbourne提出的注意模型(attentional model)^[31]。注意模型认为:大脑某半球的占优激活使注意偏向对侧的身体和空间,从而造成偏侧化现象。被试在参与言语刺激感知处理时,其对于传入言语材料的预期,使得语言处理占优的大脑左半球处于被激活前或待发状态,从而导致了右耳优势的出现。

M. Hiscock和M. Kinsbourne等^[32-33]后续的相关研究认为,右耳优势现象是动态可调节的,注意可能是大脑半球偏侧化的一个重要调节因素,用注意的观念对这种现象进行解释已成为必要的一步。

目前,常采用FA双耳分听范式进行注意因素对言语刺激双耳分听的影响研究,典型结果显示,被试在FR情况下右耳优势增强;在FL情况下右耳优势减弱,甚至转化为左耳优势(Left-Ear Advantage, LEA)^[13-14,21]。这表明双耳分听中的注意因素影响主要表现为两个方面,即对报告注意耳侧听觉刺激的促进和对非注意耳侧听觉刺激的抑制^[14,34]。

K. Hugdahl 等人^[35]认为, 被试在 FA 双耳分听范式下左、右耳听觉刺激报告的正确率, 受自下而上的刺激驱动处理(bottom-up stimulus-driven processing)和自上而下的指令驱动处理(top-down instruction-driven processing)的相互作用影响。REA 现象被认为是一种自下而上的刺激驱动处理偏侧化效应, 造成的原因是来自右耳的对侧神经纤维到左颞叶的语言处理区域占主要优势。然而, 通过明确要求被试集中注意在右耳或左耳的刺激可以调节 REA, 即自上而下的指令控制处理可以增强或抑制自下而上的刺激驱动处理。

然而, 言语刺激 FA 双耳分听研究结果通常还显示, FR 情况下对 REA 的增强效果远大于 FL 情况下对 REA 的减弱效果^[9]。此外, E. M. Løberg 等人^[36]、K. Hugdahl 等人^[37]采用 FA 双耳分听范式对精神分裂症患者和正常人的对比研究发现, 精神分裂症患者在 FR 下对 REA 的增强调节基本能够达到和正常人一致水平, 但在 FL 下对 REA 的减弱调节却远不及正常人。

K. Hugdahl 等人^[38]认为, 导致上述现象的原因可能是: 让被试集中注意在右耳或左耳刺激的指令, 诱发了不同程度的认知冲突(cognitive conflict)和与之相适应的认知控制策略(cognitive control strategies)需求。FL 情况下存在自上而下指令驱动处理和自下而上刺激驱动处理之间的冲突, 即后者促使右耳响应, 而前者促使左耳响应。而 FR 情况下这两种处理之间是协同作用的, 都促使右耳响应。因此, 可以认为 NF、FR、FL 三种双耳分听范式包含三种不同的(或不同程度的)认知处理: NF 包含偏侧化感知处理, FR 包含注意处理, FL 包含认知控制处理; 三种范式对认知负荷和努力的需求依次逐渐增加。

4 双耳分听中的性别/年龄/利手差异

REA 是源自神经解剖学模型的行为效应(behavioral effect)的几个例子之一, 其所呈现出的效度超出了来自心理学实验室的大多数其他结果^[9]。然而, 也有一些证据显示, REA 的大小或程度受性别、年龄、利手等因素的调节。

从双耳分听研究收集到的一些数据表明, 在知、听觉不对称性和语言感知偏侧化方面可能存在小群体性别和利手差异。通常表现为, 男性比女性呈现更强的 REA, 右利手者比左利手者呈现更强的 REA^[39-43]。然而, 近年来也有采用大规模样本的研

究指出, 在评估语言感知偏侧化的双耳分听研究中, 性别差异存在, 但具有年龄依赖性, 且这种差异相对较小^[44]。

此外, 言语刺激双耳分听中的年龄差异研究的典型结果显示: 老年人在 NF 和 FA 双耳分听范式下的正确报告表现相较于年轻人均有所减弱, 且老年人在 FA 情况下的左右耳定位错误相较于年轻人也有所增加; 此外, 由于老年人在正确报告呈现给左耳的双耳分听刺激方面存在更大的欠缺, 导致老年人比年轻人呈现更强的 REA^[45-49]。3 岁及以上儿童在 NF 和 FR 双耳分听范式下即可呈现 REA, 且随年龄的增长而增强, 而在 FL 双耳分听范式下却未能与成人一样呈现明显的 LEA^[13,50-56]。

5 双耳分听的临床应用

被试在双耳分听测试中的行为表现, 可能受到除听觉处理自身之外的许多因素的影响, 包括: 短时记忆、心理加工速度、认知资源分配、报告策略和言语材料等^[57]。因此, 双耳分听研究的一大特色是其在临床情况中的应用, 用以揭示儿童和成人患者的大脑半球功能异常, 以及注意、工作记忆、认知执行功能障碍等^[9]。

目前, 数字、元-辅音节、句子等言语刺激双耳分听测试, 已然成为疑似听觉处理障碍(Auditory Processing Disorder, APD)儿童和成人患者临床评估诊断的核心内容和方法。J. Jerger 等人^[57-58]的研究结果指出, 为了更好地对广义的认知功能障碍和听觉处理障碍进行区分, NF、FR、FL 三种双耳分听范式在 APD 临床评估中均应采用。

此外, 双耳分听测试在癫痫^[19,59-61]、学习困难^[62-63]、读写障碍^[64-65]、精神分裂症^[36-37]、失语症^[17]、口吃^[66]等临床症状的评估和研究中, 同样发挥着重要作用。

R. J. Zatorre^[19]、K. Hugdahl^[60]等分别对临床癫痫患者实施了 DFWT、辅-元音节双耳分听测试与 Wada 氏试验(Wada-test)的对比实验, 结果显示, 基于双耳分听测试得到的 REA 或 LEA 对被试属于大脑左半球或右半球语言优势进行分类的结果, 与依据 Wada-test 进行分类的结果相比, 吻合度可达 90% 以上。从而, 证实了双耳分听测试在评估和测定言语感知大脑半球偏侧化方面具有相当高的效度。

J. E. Obrzut 等人^[62]开展了针对学习困难儿童的言语刺激双耳分听研究, 结果显示, 在 NF、FR、FL 三种双耳分听范式下, 正常儿童比学习困难儿童

呈现出的 REA 均更强。这表明, 学习困难儿童在言语感知处理方面可能没有足够的大脑半球偏侧化优势, 而且更容易产生注意转移。J. E. Obrzut 等人^[63]在总结相关研究的基础上认为, 临床中 FA 双耳分听范式的采用, 对解释学习困难儿童在双耳分听测试中的表现具有重要作用, 且这种表现是大脑半球能力和注意因素相互作用的结果。

可见, 在临床症状的评估、诊断和研究方面, 联合采用 NF、FR、FL 三种双耳分听范式进行全面测试, 才能更好发挥地双耳分听的临床应用价值。

6 总结和展望

自 1961 年 D. Kimura^[6-7]开创性地通过双耳分听数字序列实验发现右耳优势(REA)现象起, 经过 50 多年的研究积累和发展, 双耳分听已成为开展听觉感知大脑半球偏侧化研究最重要的非侵入式行为测试方法。本文从多个方面, 对其中最热门的言语刺激双耳分听研究的成果进行了归纳总结。

近 20 多年来, 正电子发射断层扫描(Positron Emission Tomography, PET)^[67]、功能性核磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)^[68]、事件相关电位(Event-Related Potentials, ERP)^[69]、脑电图(Electroencephalogram, EEG)^[70]、脑磁图(Magnetoencephalogram, MEG)^[71]等新兴的脑功能成像技术被广泛引入双耳分听研究领域。这些神经影像方法和行为测试方法的完美结合, 使得深入探究双耳分听测试中观察到的行为效应背后潜在的神经机制成为可能, 必将是未来双耳分听研究的一大热点。

进入 21 世纪, 智能设备和移动互联网的飞速发展和日益普及, 为双耳分听研究领域未来的创新发展提供了新思路。例如: 近几年, Hugdahl 及其“Bergen fMRI Group”的同事^[43-44, 72-73]发起实施了借助移动 APP, 开展大规模、跨文化的 CV-syllables 双耳分听研究的新方向, 以深入探究 REA 的普遍性和特异性。

总之, 双耳分听研究领域中新技术、新思路的引入和出现, 都为双耳分听研究未来的创新发展和持续繁荣铺平了道路。此外, 还需特别强调的是, 双耳分听在临床中的应用价值不容忽视, 有待进一步挖掘与开发。

反观国内的双耳分听研究, 则在深入细致的探究、独到创新的思维、丰硕显著的成果等方面均有所欠缺。想要改变这种现状, 提升我国在该研究领

域的国际知名度和影响力, 不仅需要国内相关研究者们不懈努力, 更需要国家加大对该领域基础研究、应用研究的扶持力度。

目前来看, 开发符合国人言语发展特点的用于儿童和成人双耳分听测试的汉语言语材料; 分年龄段细致研究并建立相应的汉语双耳分听测试标准数据和常模; 深入探究其背后潜在的认知和神经机制; 研发适用于我国听觉处理障碍等临床症状评估诊断的汉语言语刺激双耳分听测试平台, 并充分发挥其在临床中的应用价值等, 应该是我国双耳分听研究者们未来值得共同努力的方向。

致谢: 感谢香港教育学院袁志彬(Kevin C. P. Yuen)教授和深圳大学孟庆林博士对本文提出的宝贵意见和建议。

参 考 文 献

- [1] Cherry E C. Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears[J]. The Journal of the acoustical society of America, 1953, 25(5): 975-979.
- [2] Moray N. Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1959, 11(1): 56-60.
- [3] Broadbent D E. The role of auditory localization in attention and memory span[J]. Journal of Experimental Psychology, 1954, 47(3): 191-196.
- [4] Broadbent D E. Successive responses to simultaneous stimuli[J]. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1956, 8(4): 145-152.
- [5] Broadbent D E. Perception and communication[M]. London: Pergamon Press, 1958: 1-337.
- [6] Kimura D. Some effects of temporal-lobe damage on auditory perception[J]. Canadian Journal of Psychology, 1961, 15(3): 156-165.
- [7] Kimura D. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli[J]. Canadian Journal of Psychology, 1961, 15(3): 166-171.
- [8] Kimura D. Functional asymmetry of the brain in dichotic listening[J]. Cortex, 1967, 3(2): 163-178.
- [9] Hugdahl K. Fifty years of dichotic listening research—Still going and going and...[J]. Brain and Cognition, 2011, 76(2): 211-213.
- [10] Bryden M P. Order of report in dichotic listening[J]. Canadian Journal of Psychology, 1962, 16(4): 291-299.
- [11] Hugdahl K. Handbook of dichotic listening: Theory, methods and research[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 1988: 1-44.
- [12] Bryden M P, Munhall K, Allard F. Attentional biases and the right-ear effect in dichotic listening[J]. Brain and Language, 1983, 18(2): 236-248.
- [13] Hugdahl K, Andersson L. The “forced-attention paradigm” in dichotic listening to CV-syllables: a comparison between adults and children[J]. Cortex, 1986, 22(3): 417-432.
- [14] Tallus J, Hugdahl K, Alho K, et al. Interaural intensity difference and ear advantage in listening to dichotic consonant-vowel syllable pairs[J]. Brain Research, 2007, 1185(1): 195-200.
- [15] Shankweiler D, Studdert-Kennedy M. Identification of consonants and vowels presented to left and right ears[J]. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1967, 19(1): 59-63.
- [16] Studdert-Kennedy M, Shankweiler D. Hemispheric specialization

- for speech perception[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1970, **48**(2B): 579-594.
- [17] Johnson J P, Sommers R K, Weidner W E. Dichotic ear preference in aphasia[J]. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 1977, **20**(1): 116-129.
- [18] Wexler B E, Halwes T. Increasing the power of dichotic methods: The fused rhymed words test[J]. Neuropsychologia, 1983, **21**(1): 59-66.
- [19] Zatorre R J. Perceptual asymmetry on the dichotic fused words test and cerebral speech lateralization determined by the carotid sodium amyl test[J]. Neuropsychologia, 1989, **27**(10): 1207-1219.
- [20] Wexler B E, Halwes T. Dichotic listening tests in studying brain-behavior relationships[J]. Neuropsychologia, 1985, **23**(4): 545-559.
- [21] Asbjørnsen A E, Bryden M. P. Biased attention and the fused dichotic words test[J]. Neuropsychologia, 1996, **34**(5): 407-411.
- [22] Van Lancker D, Fromkin V A. Hemispheric specialization for pitch and "tone": Evidence from Thai[J]. Journal of Phonetics, 1973, **1**: 101-109.
- [23] Van Lancker D, Fromkin V A. Cerebral dominance for pitch contrasts in tone language speakers and in musically untrained and trained english speakers[J]. Journal of Phonetics, 1978, **6**(1): 19-23.
- [24] Moen I. Functional lateralization of the perception of Norwegian word tones-Evidence from a dichotic listening experiment[J]. Brain and Language, 1993, **44**(4): 400-413.
- [25] Wang Y, Jongman A, Sereno J A. Dichotic perception of Mandarin tones by Chinese and American listeners[J]. Brain and Language, 2001, **78**(3): 332-348.
- [26] Wang Y, Behne D M, Jongman A, et al. The role of linguistic experience in the hemispheric processing of lexical tone[J]. Applied Psycholinguistics, 2004, **25**(3): 449-466.
- [27] 刘丽, 彭聘龄. 汉语普通话声调加工的右耳优势及其机理: 一项双耳分听的研究[J]. 心理学报, 2004, **36**(4): 260-264.
LIU Li, PENG Danling. Right ear advantage for Mandarin tone perception and its mechanism: a dichotic listening study[J]. Acta Psychologica Sinica, 2004, **36**(4): 260-264.
- [28] 牟宏宇, 原猛, 冯海泓. 双耳分听汉语普通话声调研究[J]. 声学技术, 2014, **33**(1): 41-45.
MOU Hongyu, YUAN Meng, FENG Haihong. Research on dichotic listening of Mandarin tone[J]. Technical Acoustics, 2014, **33**(1): 41-45.
- [29] Van Lancker D. Cerebral lateralization of pitch cues in the linguistic signal[J]. Research on Language & Social interaction, 1980, **13**(2): 201-277.
- [30] Wong P C M. Hemispheric specialization of linguistic pitch patterns[J]. Brain research bulletin, 2002, **59**(2): 83-95.
- [31] Kinsbourne M. The cerebral basis of lateral asymmetries in attention[J]. Acta psychologica, 1970, **33**: 193-201.
- [32] Hiscock M, Inch R, Kinsbourne M. Allocation of attention in dichotic listening: differential effects on the detection and localization of signals[J]. Neuropsychology, 1999, **13**(3): 404-414.
- [33] Hiscock M, Kinsbourne M. Attention and the right-ear advantage: What is the connection?[J]. Brain and cognition, 2011, **76**(2): 263-275.
- [34] Asbjørnsen A E, Hugdahl K. Attentional effects in dichotic listening[J]. Brain and Language, 1995, **49**(3): 189-201.
- [35] Hugdahl K, Davidson R J. The asymmetrical brain[M]. Massachusetts: MIT Press, 2004: 441-475.
- [36] Løberg E M, Hugdahl K, Green M F. Hemispheric asymmetry in schizophrenia: a "dual deficits" model[J]. Biological Psychiatry, 1999, **45**(1): 76-81.
- [37] Hugdahl K, Rund B R, Lund A, et al. Attentional and executive dysfunctions in schizophrenia and depression: evidence from dichotic listening performance[J]. Biological Psychiatry, 2003, **53**(7): 609-616.
- [38] Hugdahl K, Westerhausen R E, Alho K, et al. Attention and cognitive control: unfolding the dichotic listening story[J]. Scandinavian Journal of Psychology, 2009, **50**(1): 11-22.
- [39] Lake D A, Bryden M P. Handedness and sex differences in hemispheric asymmetry[J]. Brain and Language, 1976, **3**(2): 266-282.
- [40] Hiscock M, Inch R, Jacek C, et al. Is there a sex difference in human laterality? I. An exhaustive survey of auditory laterality studies from six neuropsychology journals[J]. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 1994, **16**(3): 423-435.
- [41] Wadnerkar M B, Whiteside S P, Cowell P E. Dichotic listening asymmetry: Sex differences and menstrual cycle effects[J]. Laterality, 2008, **13**(4): 297-309.
- [42] Voyer D. Sex differences in dichotic listening[J]. Brain and Cognition, 2011, **76**(2): 245-255.
- [43] Bless J J, Westerhausen R, Torkildsen J K, et al. Laterality across languages: Results from a global dichotic listening study using a smartphone application[J]. Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition, 2015, **20**(4): 434-452.
- [44] Hirnstein M, Westerhausen R, Korsnes M S, et al. Sex differences in language asymmetry are age-dependent and small: A large-scale, consonant-vowel dichotic listening study with behavioral and fMRI data[J]. Cortex, 2013, **49**(7): 1910-1921.
- [45] Bellis T J, Wilber L A. Effects of aging and gender on interhemispheric function[J]. Journal of Speech, Language, and Hearing Research, 2001, **44**(2): 246-263.
- [46] Hugdahl K, Carlsson G, Eichele T. Age effects in dichotic listening to consonant-vowel syllables: interactions with attention[J]. Developmental Neuropsychology, 2001, **20**(1): 445-457.
- [47] Gootjes L, Van Strien J W, Bouma A. Age effects in identifying and localising dichotic stimuli: a corpus callosum deficit[J]. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 2004, **26**(6): 826-837.
- [48] Roup C M, Wiley T L, Wilson R H. Dichotic word recognition in young and older adults[J]. Journal of the American Academy of Audiology, 2006, **17**(4): 230-240.
- [49] Westerhausen R, Bless J, Kompus K. Behavioral laterality and aging: the free-recall dichotic-listening right-ear advantage increases with age[J]. Developmental neuropsychology, 2015, **40**(5): 313-327.
- [50] Kimura D. Speech lateralization in young children as determined by an auditory test[J]. Journal of Comparative and Physiological Psychology, 1963, **56**(5): 899-902.
- [51] Bryden M P. Laterality effects in dichotic listening: Relations with handedness and reading ability in children[J]. Neuropsychologia, 1970, **8**(4): 443-450.
- [52] Geffner D S, Hochberg I. Ear laterality performance of children from low and middle socioeconomic levels on a verbal dichotic listening task[J]. Cortex, 1971, **7**(2): 193-203.
- [53] Berlin C I, Hughes L F, Lowe-Bell S S, et al. Dichotic right ear advantage in children 5 to 13[J]. Cortex, 1973, **9**(4): 394-402.
- [54] Ingram D. Cerebral speech lateralization in young children[J]. Neuropsychologia, 1975, **13**(1): 103-105.
- [55] Piazza D M. Cerebral lateralization in young children as measured by dichotic listening and finger tapping tasks[J]. Neuropsychologia, 1977, **15**(3): 417-425.
- [56] Moncrieff D W. Dichotic listening in children: Age-related changes in direction and magnitude of ear advantage[J]. Brain and Cognition, 2011, **76**(2): 316-322.
- [57] Jerger J. Dichotic Listening in the Evaluation of APD[J]. Journal of the American Academy of Audiology, 2007, **18**(1): 4.
- [58] Jerger J, Martin J. Dichotic listening tests in the assessment of

- auditory processing disorders[J]. *Audiological Medicine*, 2006, **4**(1): 25-34.
- [59] Strauss E, Gaddes W H, Wada J. Performance on a free-recall verbal dichotic listening task and cerebral dominance determined by the carotid amytal test[J]. *Neuropsychologia*, 1987, **25**(5): 747-753.
- [60] Hugdahl K, Carlsson G, Uvebrant P, et al. Dichotic-listening performance and intracarotid injections of amobarbital in children and adolescents: preoperative and postoperative comparisons[J]. *Archives of Neurology*, 1997, **54**(12): 1494-1500.
- [61] Carlsson G, Wiegand G, Stephani U. Interictal and postictal performances on dichotic listening test in children with focal epilepsy[J]. *Brain and Cognition*, 2011, **76**(2): 310-315.
- [62] Obrzut J E, Obrzut A, Bryden M P, et al. Information processing and speech lateralization in learning-disabled children[J]. *Brain and Language*, 1985, **25**(1): 87-101.
- [63] Obrzut J E, Mahoney E B. Use of the dichotic listening technique with learning disabilities[J]. *Brain and Cognition*, 2011, **76**(2): 323-331.
- [64] Helland T, Asbjørnsen A. Brain asymmetry for language in dyslexic children[J]. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 2001, **6**(4): 289-301.
- [65] Moncrieff D W, Black J R. Dichotic listening deficits in children with dyslexia[J]. *Dyslexia*, 2008, **14**(1): 54-75.
- [66] Sommers R K, Brady W A, Moore Jr W H. Dichotic ear preferences of stuttering children and adults[J]. *Perceptual and Motor Skills*, 1975, **41**(3): 931-938.
- [67] Hugdahl K, Brønnick K, Kyllingsbrk S, et al. Brain activation during dichotic presentations of consonant- vowel and musical instrument stimuli: a 15 O-PET study[J]. *Neuropsychologia*, 1999, **37**(4): 431-440.
- [68] Van den Noort M, Specht K, Rimol L M, et al. A new verbal reports fMRI dichotic listening paradigm for studies of hemispheric asymmetry[J]. *Neuroimage*, 2008, **40**(2): 902-911.
- [69] Luo H, Ni J T, Li Z H, et al. Opposite patterns of hemisphere dominance for early auditory processing of lexical tones and consonants[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2006, **103**(51): 19558-19563.
- [70] Brancucci A, Babiloni C, Vecchio F, et al. Decrease of functional coupling between left and right auditory cortices during dichotic listening: An electroencephalography study[J]. *Neuroscience*, 2005, **136**(1): 323-332.
- [71] Brancucci A, Babiloni C, Babiloni F, et al. Inhibition of auditory cortical responses to ipsilateral stimuli during dichotic listening: evidence from magnetoencephalography[J]. *European Journal of Neuroscience*, 2004, **19**(8): 2329-2336.
- [72] Bless J J, Westerhausen R, Arciuli J, et al. "Right on all occasions?" – On the feasibility of laterality research using a smartphone dichotic listening application[J]. *Frontiers in Psychology*, 2013, **4**: Article 42-1-10.
- [73] Hirnstein M, Hugdahl K, Hausmann M. How brain asymmetry relates to performance – a large-scale dichotic listening study[J]. *Frontiers in psychology*, 2014, **4**: Article 997-1-10.